

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

⑫ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和61年(1986)5月9日

G 03 F 7/20  
G 02 B 27/18  
H 01 L 21/30

7124-2H

7529-2H

6603-5F

審査請求 未請求 発明の数 2 (全5頁)

⑭ 発明の名称 投影露光装置

⑮ 特 願 昭59-211269

⑯ 出 願 昭59(1984)10月11日

⑰ 発 明 者 堀 内 敏 行

厚木市小野183番地 日本電信電話公社厚木電気通信研究所内

⑱ 発 明 者 鈴 木 雅 則

厚木市小野183番地 日本電信電話公社厚木電気通信研究所内

⑲ 発 明 者 渋谷 真 人

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 日本光学工業株式会社内

⑳ 出 願 人 日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉑ 出 願 人 日本光学工業株式会社

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

㉒ 代 理 人 弁理士 山川 政樹

外1名

Translation

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

投影露光装置

## 2. 特許請求の範囲

(1) レチクル上のパターンを投影光学系を介してウ

する投影露光装置。

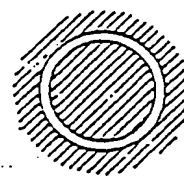
(4) 特殊絞りと均一絞りととは、2次光源面の直後に装着可能であることを特徴とする特許請求の範囲第3項記載の投影露光装置。

(5) 2次光源は、その前面に、2次光源を形成するルミナンスに1対する光束の光強度分布

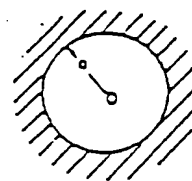
(4) PROJECTING AND EXPOSING DEVICE  
(11) 61-91662 (A) (43) 9.5.1986 (19) JP  
(21) Appl. No. 59-211269 (22) 11.10.1984  
(71) NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT> (1)  
(72) TOSHIYUKI HORIUCHI (2)  
(51) Int. Cl.<sup>4</sup> G03F7/20, G02B27/18, H01L21/30

PURPOSE: To obtain higher resolution with a thin resist layer by mounting a special stop which has higher transmissivity at the center part than at the peripheral part instead of a uniform stop which determines the size of a secondary light source.

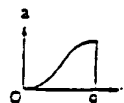
CONSTITUTION: When resist is thin, light from the center part of the secondary light source is not used so as to improve the resolution and only light from the peripheral part of the secondary light source is used for exposure. Consequently, the special stop is, for example, a stop having an annular passing area. In another way, a stop having a distribution of transmissivity is used instead thereof. Its transmissivity is so distributed that the transmissivity is higher toward the periphery and lowest or zero at the center. This special stop is only mounted instead of the aperture stop of the exit of an optical integrator. When a thin resist layer is used, the resolution is higher and higher as a pattern in use is thinner and thinner toward the outside of the secondary light source. For the purpose, only the light from the peripheral part of the secondary light source is used to obtain higher resolution.



(a)



(b)



00485  
Training Sheet

D1

TRANSLATION FROM JAPANESE

- (19) JAPANESE PATENT OFFICE (JP)
- (11) Japanese Laid-Open Patent Application (Kokai) No. 61-91662
- (12) Official Gazette for Laid-Open Patent Applications (A)

(51) Int. Cl.<sup>4</sup>:      Classification Symbols:      Internal Office Registration Nos.:

G 03 F	7/20	7124-2H
G 02 B	27/18	7529-2H
H 01 L	21/30	6603-5F

- (43) Disclosure Date: May 9, 1986
- Request for Examination: Not yet submitted
- Number of Inventions: 2
- (Total of 6 pages [in original])

---

(54) Title of the Invention:      Projection Exposure Apparatus

- (21) Application No. 59-211269
- (22) Filing Date: October 11, 1984
- (72) Inventor: Toshiyuki Horiuchi
- (72) Inventor: Masanori Suzuki
- (72) Inventor: Naohito Shibuya
- (71) Applicant: Nippon Telegraph & Telephone Corp.
- (71) Applicant: Nippon Kogaku Kogyo Co., Ltd.
- (74) Agent: Masaki Yamagawa, Patent Attorney, and one other

## SPECIFICATION

### Title of the Invention

#### Projection Exposure Apparatus

### Claims

- (1) A projection exposure apparatus for projecting patterns on a reticle onto a wafer through a projection optical system, wherein said projection exposure apparatus is characterized by having a special stop whereby the intensity gradient in the exit pupil of a secondary light source which illuminates said reticle is such that the intensity in the peripheral areas is greater than the intensity in the central area.
- (2) A projection exposure apparatus as defined in Claim 1, characterized by the fact that the special stop can be inserted immediately after the secondary light source, and has an aperture shape and transmittance gradient such that the light intensity in the peripheral areas is greater than the light intensity in the central area.
- (3) A projection exposure apparatus for projecting patterns on a reticle onto a wafer through a projection optical system, wherein said projection exposure apparatus is characterized by the fact that a special stop whereby the intensity gradient in the exit pupil of a secondary light source which illuminates said reticle is such that the intensity in the peripheral areas is greater than the intensity in the central area is interchangeable with a homogeneous stop that does not affect the intensity gradient in the exit pupil of the secondary light source.
- (4) A projection exposure apparatus as defined in Claim 3, characterized by the fact that the special stop and the homogeneous stop can be inserted immediately after the secondary light source.
- (5) A projection exposure apparatus as defined in Claim 4, characterized by the fact that the secondary light source has at its front surface a conical lens that is capable of causing the light intensity gradient of the bundle entering a homogeneous optical system which forms the secondary light source to approximate the aperture shape and transmittance gradient of the stop which is inserted immediately after the secondary light source.

## Detailed Description of the Invention

### *Field of Industrial Utilization*

The present invention relates to a projection exposure apparatus for forming the fine resist patterns required for manufacturing semiconductor integrated circuits and the like.

### *Prior Art*

A conventional projection exposure apparatus is depicted in Fig. 5. In Fig. 5, 1 indicates a lamp, 2 indicates an elliptical reflecting mirror, 3 indicates the second focal point of the elliptical reflecting mirror 2, 4 indicates an input lens, 5 indicates an optical integrator, 6 indicates an output lens, 7 indicates a collimation lens, 8 indicates a reticle, 9 indicates a homogeneous aperture stop, 10 indicates a filter, 11 and 12 indicate cold mirrors, 13 indicates a lamp house, 14 indicates an optical system for projecting images of patterns on the reticle 8 onto a wafer using lenses, mirrors, or some combination thereof, 15 indicates a wafer, and 16 indicates an aperture stop.

Mercury lamps are used as the light source lamp 1 in many projection exposure apparatus of this type in order to produce the g line (436 nm), the h line (405 nm), the i line (365 nm), or other line, or some continuous spectrum close to these wavelengths. It is therefore necessary for the light source lamp 1 to have high luminance, and it is preferable for [the lamp] to be positioned close to the point source to achieve efficient condensation and uniform illumination. However, this ideal light source does not actually exist, so the use of a lamp 1 of finite size possessing an intensity gradient is unavoidable. This raises the issue of how to efficiently convert the light emitted by such a lamp 1 into light which gives uniform illumination.

The design of the apparatus depicted in Fig. 5 employs a typical conventional condensation method. The lamp 1 is disposed at the first focal point of the elliptical reflecting mirror 2, and the bundle is initially focused near the second focal point 3 of the elliptical reflecting mirror 2. The rays are collimated to form a parallel bundle by an input lens 4 whose focal point location is essentially the same as that of the second focal point 3, whereupon they enter the optical integrator 5. The optical integrator 5 comprises a bundle of numerous rod-shaped lenses, and is sometimes termed a "fly-eye lens". The principal object of passing [light] through the optical integrator 5 is to increase the uniformity of illumination; the input lens 4 has the function of minimizing eclipse of the light rays which pass through the optical integrator 5, raising condensation efficiency. The light exiting the optical

integrator 5 is condensed by the output lens 6 and the collimation lens 7 in such a way that the light bundle exiting the small lenses of the optical integrator 5 hits the reticle 8 in superposed fashion. The light rays entering the optical integrator 5 have a spatial intensity gradient, but the light [rays] exiting the small lenses of the optical integrator 5 can be essentially equally superposed, producing essentially uniform intensity of illumination on the reticle 8. Of course, if the intensity of the light entering the optical integrator 5 is approximately uniform, illumination by the exiting light [rays] superposed on the reticle is more uniform as well. An aperture stop 9 is disposed at the exit side of the optical integrator 5 to limit the dimensions of the exit side of the optical integrator 5.

When a mercury lamp is used as the lamp 1 and an elliptical reflecting mirror 2 is employed to condense [its light], it is not possible to obtain light rays directed in the axial direction of the lamp, since the mercury lamp has an elongated shape with electrodes disposed at both ends, as shown in Fig. 2. Simply using a convex lens as the input lens 4, as shown in Fig. 5, does not necessarily prevent an unwanted light intensity gradient in the central area of the optical integrator 5. In some cases, a double-convex lens or half-convex, half-concave conical lens is inserted between the input lens 4 and the optical integrator 5 to render the intensity distribution of the light entering the optical integrator 5 more uniform.

The filter 10 ensures that only light of aberration-corrected wavelengths passes through the optical system. The cold mirrors 11 and 12 bend the optical path, allowing the height of the apparatus to be reduced; they also transmit long-wavelength light and heat rays so that these are absorbed by the coolable portions of the lamp house 13. The light illuminating the reticle 8 passes through the projection optical system 14 and projects the image of a fine pattern on the reticle onto the resist on the wafer to expose it. A stop 16 which determines the numerical aperture is located within the projection optical system 14.

There are numerous other designs for conventional projection exposure apparatus besides that depicted in Fig. 5; as depicted schematically in Fig. 6, all of these include, in order, a light source 17, a first condensing optical system 18, a homogeneous optical system 19, a second condensing optical system 20, a reticle 8, a projection optical system 14, and a wafer 15.

The first condensing optical system 18 corresponds to the elliptical reflecting mirror 2 and the input lens 4 of the example in Fig. 5; besides the elliptical mirror, the system can also include spherical mirrors, plane mirrors, lenses, and the like as appropriate so that the light bundle emitted from the light source is directed into the homogeneous optical system 19 in as efficient a manner as possible. The homogeneous optical system 19 corresponds to the

optical integrator 5 in Fig. 2; it may also employ optical fibers, polyhedral prisms, and the like.

The second condensing optical system 20 corresponds to the output lens 6 and the collimation lens 7 in Fig. 5; it superposes the light [rays] exiting the homogeneous optical system 19 and ensures image telecentricity. A filter which corresponds to the filter 10 in Fig. 5 is disposed in a location where the light beam is nearly parallel to the optical axis. Reflecting mirrors which correspond to the cold mirrors 11 and 12 are inserted in some unspecified location.

In this type of apparatus, the properties of the light which enters the reticle 8 (looking back from the reticle towards the light source) are the properties of light that has passed through the second condensing optical system 20 and exited the homogeneous optical system 19; thus, the homogeneous optical system 19 exit serves as the apparent light source. Thus, in this type of design, the homogeneous optical system 19 exit 24 is commonly referred to as the "secondary light source".

When the reticle 8 is projected onto the wafer 5, the various characteristics of projected exposure pattern formation, that is, resolution, depth of focus, and other characteristics, are determined by the numerical aperture of the projection optical system 14 and the properties of the light which illuminates the reticle 8, that is, by the properties of the secondary light source 24. Fig. 7 is an illustrative diagram showing the reticle-illuminating light rays and image-forming light rays in the projection exposure apparatus shown in Fig. 6.

In Fig. 7, an aperture stop 16 is disposed within the projection optical system 14 to limit the angle of the light that can pass through the system after passing through the reticle to  $\theta_a$ , as well as to limit the angle  $\theta$  of the light rays which are projected down onto the wafer 15.

The numerical aperture NA of a projection optical system refers to an angle defined as  $NA = \sin\theta$ . Where  $1/m$  represents the projection magnification,  $\sin\theta_a = \sin\theta/m$ . This type of apparatus is ordinarily "image-telecentric", that is, the principal light rays projected down onto the image plane are perpendicular to the image plane. In order to meet this condition of "image telecentricity", the real image at the exit pupil of the homogeneous optical system 19 depicted in Fig. 6 (that is, in the light source plane of the secondary light source 24) is formed at the location of the aperture stop 16. Let the range of light entering the reticle 8 be defined as the angle of spread [of light entering the reticle] when looking back from the reticle 8 towards the secondary light source plane through the second condensing optical system 20,

and the half angle thereof be denoted by  $\phi$ ; let the coherence  $\sigma$  of the illuminant light be defined as  $\sigma = \sin\phi/\sin\theta_a$ . Under such conditions, the characteristics of pattern formation were conventionally thought to be determined by NA and  $\sigma$ . The relationships among NA and  $\sigma$  on the one hand and the characteristics of pattern formation on the other will now be discussed in detail. A higher NA is associated with higher resolution but also with shallower depth of focus. Due to aberration in the projection optical system 14, it is also difficult to ensure exposure over a wide area. Since a certain exposure area and depth of focus (for example, 10 mm square,  $\pm 1 \mu\text{m}$ ) are required if [the system] is to be used for actual applications such as LSI manufacture, in conventional apparatus there was a limit of about NA = 0.35. On the other hand, the  $\sigma$  value relates mainly to the sectional profile of the pattern and to the depth of focus, and contributes to resolution in a manner interrelated with the sectional profile. At low  $\sigma$  values, the edges of the pattern are emphasized, and the side walls of the sectional profile approach the vertical, producing a sharp pattern profile; at the same time, however, fine pattern resolution is impaired, and the focal range of resolution shrinks. Conversely, at high  $\sigma$  values, fine pattern resolution and the focal range of resolution are rather good, but the side walls of the sectional profile begin to slope more; where the resist is quite thick, the cross-sectional profile becomes trapezoidal or triangular. For these reasons, in conventional projection exposure apparatus, the  $\sigma$  value was fixed in the range 0.5 to 0.7 in order to achieve a relatively balanced  $\sigma$  value. Conditions such as  $\sigma = 0.3$  have been tried only on an experimental basis. Since the size of the light source plane of the secondary light source 24 is decided upon when setting the  $\sigma$  value, it is general practice to dispose a round aperture stop 9 for setting the  $\sigma$  value immediately after the light source plane of the secondary light source 24.

#### *Problems Which the Invention Is Intended to Solve*

In conventional apparatus like that described above, only the coherency  $\sigma$  value controls the properties of the light which illuminates the reticle 8; thus, to produce fine patterns while keeping depth of focus, uniformity within an area, line width control, and various other conditions at satisfactory levels, there was the limitation that these could only be manipulated through NA and  $\sigma$ . Thus, once the numerical aperture NA of the projection optical system 14 and the size of the secondary light source 24 had been decided upon, the pattern formation characteristics became fixed as a matter of course, making it impossible to raise resolution any further.

The present invention was developed with the foregoing in view, and is intended to provide a projection exposure apparatus by which pattern resolution can be further improved



even after the projection optical system numerical aperture and illuminating secondary light source size have been fixed.

### *Means Used to Solve the Aforementioned Problems*

In order to achieve this object, the present invention allows the conventional circular stop, used to limit the size of the secondary light source in conventional apparatus, to be substituted with a special stop having a shape provided with a transmissive area of annular or other configuration having greater transmittance in its peripheral areas than its central area.

### *Effect of the Invention*

In the present invention, when a thin resist is to be exposed, resolution is improved by not using the light coming from the central area of the secondary light source, using only the light coming from the peripheral areas of secondary light source for exposure.

### **Practical Examples**

Practical examples of stops for controlling the secondary light source, which can be used as the special stop in the projection exposure apparatus which pertains to the present invention, are illustrated in Figs. 1 through 4.

The stop illustrated in Fig. 1 has a ring-shaped transmissive area, and is fabricated by depositing chrome or other light-blocking material on a substrate of quartz, calcium fluoride, lithium fluoride, or other substrate with high transmittance of illuminant light. The stop illustrated in Fig. 2(a) has a transmittance gradient. As shown in Fig. 2(b), the transmittance gradient is such that transmittance is higher closer to the peripheral areas; towards the center, the transmittance becomes lower or [the material] blocks light completely. Like the stop depicted in Fig. 1, this stop is fabricated by depositing a light-blocking material on a substrate while imparting a gradient to its thickness in the radial direction. The curve shown in Fig. 2(b) may be any curve [of a shape reflective of] increasing transmittance closer to the perimeter of the circle. The stop illustrated in Fig. 3 is provided with several or many small openings in the peripheral area only, and may be manufactured by making holes in a metal plate or the like. The stop illustrated in Fig. 4 is similar to the stop illustrated in Fig. 1, since the product is manufactured simply by boring out a metal plate or the like, connecting sections are left between the annular openings.

The design of the present invention may be essentially the same as that of the conventional apparatus depicted in Figs. 5 and 6, installing one of the stops depicted in Figs. 1 through 4 in place of the aperture stop 9.

When the size of the aperture stop 9 is changed, a smaller aperture, that is, a smaller  $\sigma$  value, is associated with pattern side walls that more nearly approximate the vertical. On the other hand, an investigation of fine pattern resolution shows that a higher  $\sigma$  value allows even fine patterns to be projected with adjacent patterns remaining distinct. These two [opposing] tendencies, i.e., a better sectional profile with a low  $\sigma$  value and better fine pattern resolution with a high  $\sigma$  value, mean that there is some optimal  $\sigma$  value which, once the resist type and thickness have been decided upon, will give the finest pattern while still affording a sectional profile that falls within a serviceable range. Where the resist layers which are to be exposed are rather thin, as in the case when a multilayer resist or the like is to be used, deviation in the sectional profile is not particularly great and resolution becomes the principal concern; in such cases, the aforementioned optimal  $\sigma$  value will tend to be higher.

Due to the relationship between illuminant light and pattern resolution described above, in cases where the resist layer is quite thin, greater fine pattern resolution is possible towards the outside of the secondary light source. Thus, even higher resolution can be achieved by taking the further step of utilizing only light from the peripheral areas of the secondary light source in order to produce fine pattern resolution. I

The projection exposure apparatus pertaining to the present invention, which uses the stops depicted in Figs. 1 through 4, allows exposure to be effected using light from the peripheral areas of the secondary light source only, without using light from the central area of the secondary light source. Thus, where a thin resist [layer is exposed], it is possible to produce microcrystalline patterns which cannot be achieved with conventional apparatus. For example, using the 365 nm i line, a 1/10 projection magnification, and a 0.35 numerical aperture for the projection optical system 14 to pattern an OFPR800 resist 0.5  $\mu\text{m}$  thick, an apparatus with a conventional circular aperture stop set such that  $\sigma = 0.5$  is capable of line and space resolution to 0.5  $\mu\text{m}$  line width and 1  $\mu\text{m}$  pitch; in a practical example using the projection exposure apparatus which pertains to the present invention with an annular aperture stop, it has been demonstrated line and space resolution to 0.4  $\mu\text{m}$  line width and 0.8  $\mu\text{m}$  pitch is possible. With an annular aperture stop, resolution is increased to the extent that only light rays from the outside area are used, and the effect afforded by the stop will hence differ somewhat depending on the external shape and inside diameter of the annular aperture stop; in each case, however, the resolution will be higher than that afforded by a simple round aperture. The stops depicted in Figs. 2 through 4 produce [this same desired] effect through

↓

the transmittance gradient imparted to them. Other shapes are possible as long as they have high transmittance at the outside.

It has been demonstrated that the present invention increases the resolution and deepens the depth of focus. In the case of the resist pattern mentioned above, a depth of focus of at least  $\pm 0.5 \mu\text{m}$  is obtained in  $0.4 \mu\text{m}$  line and space, and one of at least  $\pm 1 \mu\text{m}$  is obtained in  $0.5 \mu\text{m}$  line and space. Since the value with conventional systems is about  $\pm 0.5 \mu\text{m}$  in  $0.5 \mu\text{m}$  line and space, this represents considerable improvement.

The special stop can be permanently installed in the apparatus, but since, as mentioned earlier, it is advantageous to use [light] closer to the central area of the secondary light source when [exposing] a thicker resist, it is preferable to make the special stop interchangeable with the conventional round aperture stop or other homogeneous stop.

In the context of the apparatus design depicted in Fig. 5, it is also possible to make the conical lens disposed in front of the optical integrator 5 detachable so that the gradient of the light entering the optical integrator 5 can be switched between a peripheral annular configuration and center-concentrated configuration by inserting or removing the conical lens; by using a conventional round stop or other homogeneous stop [for some procedures] and a special stop [for others], stops can be used as appropriate for [particular procedures] without any loss in the efficiency of light ray utilization. Making the input lens 4 interchangeable allows focal length and set position to be modified so that the size of the bundle entering the optical integrator 5 can be changed, improving the efficiency of concentration. To describe this in terms of Fig. 5, the present invention is made more effective when using a special stop by concentrating the light in a configuration approximating the shape of the transmissive areas of the special stop using the first concentration optical system 18, and then directing this light bundle into the homogeneous optical system 19.

### Merits of the Invention

The present invention outlined above employs, in place of the round stop or other homogeneous stop used to limit the size of the secondary light source in conventional devices, a special stop having an annular transmissive area or other configuration which produces higher transmittance at the peripheral areas than in the central area; this allows fine patterns to be formed on thin resists layers with deeper depth of focus than possible with conventional apparatus, thereby making possible a significant improvement in the degree of integration possible in the manufacture of semiconductor integrated circuits and the like.

Since the special stop and the conventional homogenous stop are interchangeable in the present invention, [the apparatus] may be adapted for use with thick resists as well.

#### 4. Brief Description of the Figures

Figs. 1 through 4 are plan views of stops for regulating the secondary light source which are appropriate for use as the special stop employed in the projection exposure apparatus pertaining to the present invention. Fig. 5 is a structural diagram of a typical conventional projection exposure apparatus. Fig. 6 is a schematic structural diagram thereof. Fig. 7 is an illustrative diagram showing the relationship between light rays illuminating the reticle and imaging light rays.

1--lamp; 2-- elliptical reflecting mirror, 3--second focal point; 4--input lens; 5--optical integrator; 6--output lens; 7--collimation lens; 8--reticle; 9, 16--aperture stop; 10--filter; 11, 12--cold mirrors; 13--lamp house; 14--projection optical system; 15--wafer; 17--light source; 18--first condensation optical system; 19--homogeneous optical system; 20--second condensation optical system; 24--secondary light source

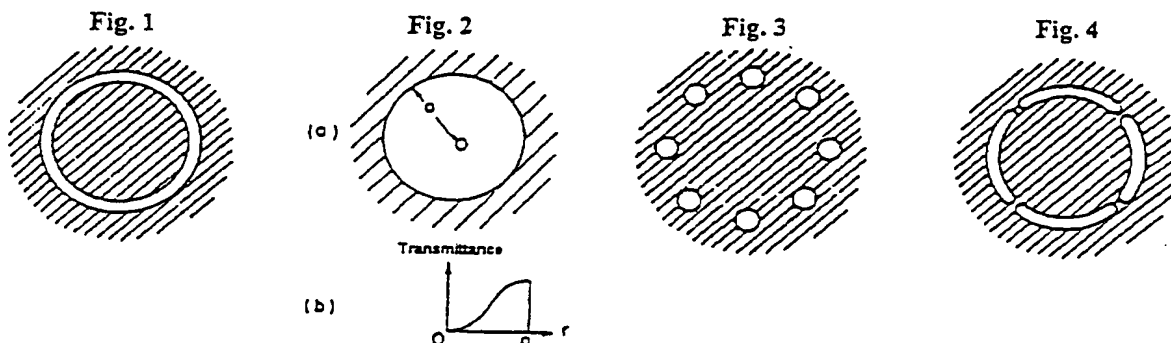


Fig. 5

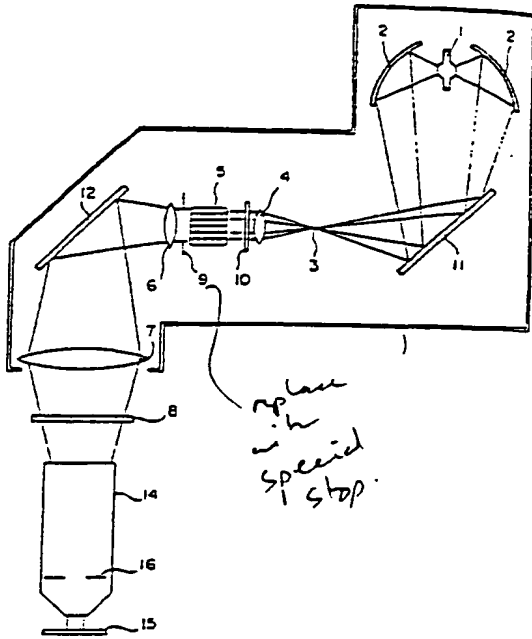


Fig. 6

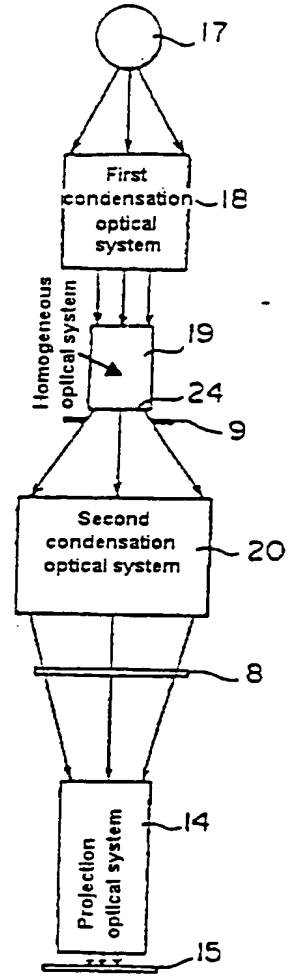
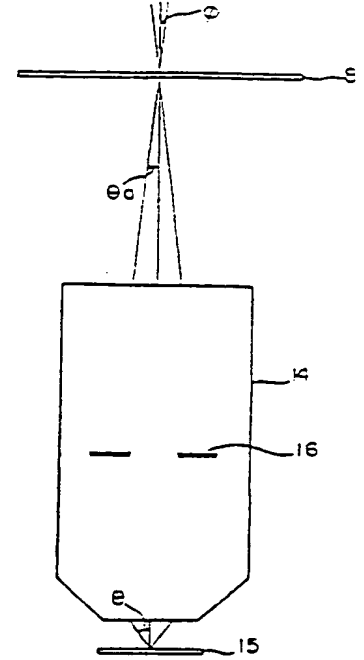


Fig. 5

Fig. 7



⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑪ 公開特許公報(A)

昭61-91662

⑫ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和61年(1986)5月9日

G 03 F 7/20  
G 02 B 27/18  
H 01 L 21/307124-2H  
7529-2H  
6603-5F

審査請求 未請求 発明の数 2 (全6頁)

⑭ 発明の名称 投影露光装置

⑮ 特 願 昭59-211269

⑯ 出 願 昭59(1984)10月11日

⑰ 発 明 者 堀 内 敏 行 厚木市小野1839番地 日本電信電話公社厚木電気通信研究  
所内

⑱ 発 明 者 鈴 木 雅 則 厚木市小野1839番地 日本電信電話公社厚木電気通信研究  
所内

⑲ 発 明 者 渋谷 真 人 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 日本光学工業株式  
会社内

⑳ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区幸町1丁目1番6号

\( 出 願 人 日本光学工業株式会社 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

\( 代 理 人 弁理士 山川 政樹 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

投影露光装置

## 2. 特許請求の範囲

(1) レチクル上のパターンを投影光学系を介してウエハ上に投影露光する投影露光装置において、前記レチクルを照明する2次光源の射出面内強度分布を周辺部強度が中央部強度より大とせしめる特殊絞りを有することを特徴とする投影露光装置。

(2) 特殊絞りは、2次光源面の直後に装着可能であり、開口形状、透過率分布を周辺部の光強度が中央部の光強度より大となるようにしたことを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の投影露光装置。

(3) レチクル上のパターンを投影光学系を介してウエハ上に投影露光する投影露光装置において、前記レチクルを照明する2次光源の射出面内強度分布を周辺部強度が中央部強度より大とせしめる特殊絞りと2次光源の射出面内強度分布に影響を与えない均一絞りとを交換可能としたことを特徴と

する投影露光装置。

(4) 特殊絞りと均一絞りととは、2次光源面の直後に装着可能であることを特徴とする特許請求の範囲第3項記載の投影露光装置。

(5) 2次光源は、その前面に、2次光源を形成するための均一化光学系に入射する光束の光強度分布を2次光源面の直後に入れる絞りの開口形状、透過率分布に類似させることを可能にする円錐レンズを有することを特徴とする特許請求の範囲第4項記載の投影露光装置。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、半導体集積回路等の製造に要する微細レジストパターンを形成する投影露光装置に関するものである。

(従来技術)

第5図に従来の投影露光装置を示す。第5図において、1はランプ、2は楕円反射鏡、3は楕円反射鏡2の第2焦点、4はインプットレンズ、5はオブチカルインテグレータ、6はアウトプット

レンズ、7はコリメーションレンズ、8はレチクル、9は均一絞りとしての開口絞り、10はフィルタ、11、12はコールドミラー、13はランプハウス、14はレンズまたはミラーあるいはその組み合わせによりレチクル8上のパターンの像をウエハ上に投影する投影光学系、15はウエハ、16は開口絞りである。

従来、この種の投影露光装置の多くは光源のランプ1として水銀灯を使用し、g線436nm、h線405nm、i線365nm等の輝線またはこれらの波長近辺の連続スペクトルを取り出して用いている。このため光源のランプ1は高い輝度が必要であるとともに集光効率や照射均一性を考えると点光源に近い方がよい。しかし、実際にはそのような理想的な光源は存在しないため、有限の大きさでしかも強度に分布を持つランプ1を使用せざるを得ず、そのようなランプ1から発せられる光をいかに高効率で、かつ、照射均一性の良い光に変換するかが課題となる。

第5図に示した装置は従来の代表的な集光方法

照射強度がほぼ均一となる。当然のことながらオブチカルインテグレート5に入射する光の強度分布が均一に近ければ、出射光を重畳させたレチクル8の照度分布はより均一になる。オブチカルインテグレート5の出射側には開口絞り9がおかれ、オブチカルインテグレート5の出射側寸法を決めている。

ランプ1として水銀灯を用いて楕円反射鏡2で集光する場合、水銀灯の構造が第2図に示すように延長であり両端が電極となっているため、ランプ1の軸方向の光線を取り出すことができない。そのため、第5図に示すように、インプットレンズ4として凸レンズを使用したのみではオブチカルインテグレート5の中心部に入る光の強度分布が落ちる場合がある。そこで、インプットレンズ4とオブチカルインテグレート5との間に両凸又は片凸片凹の円錐レンズを挿入し、オブチカルインテグレート5に入る光の強度分布をより一様にする場合もある。

フィルタ10は、光学系が収差補正されている

を用いた構成の装置であり、楕円反射鏡2の第1焦点にランプ1を置き、楕円反射鏡2の第2焦点3付近に一旦光束を集める。そして、第2焦点3とほぼ焦点位置を共有するインプットレンズ4により光束をほぼ平行光束に直し、オブチカルインテグレート5に入れる。オブチカルインテグレート5は多数の棒状レンズを束ねたもので、はえの目レンズとも称される。このオブチカルインテグレート5を通すことが照射均一性を高める主因となっており、インプットレンズ4はオブチカルインテグレート5を通る光線のケラれを少なくして集光効率を高める役目をなす。このオブチカルインテグレート5を出た光は、アウトプットレンズ6およびコリメーションレンズ7によって、オブチカルインテグレート5の各小レンズから出た光束がレチクル8上に重畳して当たるよう集光せられる。オブチカルインテグレート5に入射せらるる光線は場所による強度分布を有するが、オブチカルインテグレート5の各小レンズから出る光がほぼ等しく重畳せらるる結果、レチクル8上では

波長の光だけを通すためのものであり、コールドミラー11、12は光路を曲げて装置の高さを低くするとともに、長波長光熱線を透過させてランプハウス13の冷却可能部分に吸収させる役目を担う。レチクル8を照射した光は投影光学系14を通り、レチクル8上の微細パターンの像がウエハ15上のレジストに投影露光転写される。投影光学系14の中には開口数を決定する絞り16が存在する。

従来の投影露光装置の構成は第5図に示した以外にも多数あるが、模式的には第6図のごとく、光源17、第1集光光学系18、均一化光学系19、第2集光光学系20、レチクル8、投影光学系14、ウエハ15の順に配列されている。

第1集光光学系18は第5図の例で楕円反射鏡2およびインプットレンズ4に相当する部分であり、楕円鏡のほか球面鏡、平面鏡、レンズ等を適当に配置し、光源から出る光束をできるだけ効率よく均一化光学系19に入れる役を持つ。また、均一化光学系19は第2図のオブチカルインテグ

レータ5に相当する部分であり、その他として光ファイバや多面体プリズム等が使用されることもある。

第2集光光学系20は第5図のアウトプットレンズ6およびコリメーションレンズ7とに相当する部分であり、均一化光学系19の出射光を重畳させ、また、像面テレセントリック性を確保する。この他、光束が光軸平行に近い個所に第5図のフィルタ10に相当するフィルタが挿入され、また、コールドミラー11、12に相当する反射鏡も、場所は一義的でないが、挿入される。

このように構成された装置においてレチクル8から光が来る側を見た場合、光の性質は、第2集光光学系20を通して均一化光学系19から出てくる光の性質となり、均一化光学系19の出射側が見掛け上の光源に見える。このため、上記のような構成の場合、一般に均一化光学系19の出射側24を2次光源と称している。

レチクル8がウエハ15上に投影せらるる時、投影露光パターンの形成特性、すなわち、解像度

源面を見た時の張る角をレチクル8に入射する光の範囲としてとらえ半角を $\phi$ とし照明光のコヒーレンシ $\sigma$ を $\sigma = \sin \phi / \sin \theta_a$ で定義した場合、パターン形成特性はNAと $\sigma$ で決定せらるるものと従来考えていた。次にNAおよび $\sigma$ とパターン形成特性との関連について詳細に説明する。NAが大きい程解像度は上がるが、焦点深度が浅くなり、また、投影光学系14の収差のため広露光領域の確保が難しくなる。ある程度の露光領域と焦点深度(例えば10mm角、 $\pm 1\mu m$ )がないと実際のLSI製造等の用途に使えないため、従来の装置ではNA=0.35程度が限界となっている。一方、 $\sigma$ 値は主としてパターン断面形状、焦点深度に関係し、断面形状と相関を持って解像度に関与する。 $\sigma$ 値が小さくなるとパターンの淵が強調されるため、断面形状は側壁が垂直に近づいて良好なパターン形状となるが、細かいパターンでの解像性が悪くなり解像し得る焦点範囲が狭くなる。逆に $\sigma$ 値が大きいと細かいパターンでの解像性、解像し得る焦点範囲が若干良くなるが、

や焦点深度等は、投影光学系14の開口数およびレチクル8を照射する光の性状、すなわち、2次光源24の性状によって決まる。第7図は第6図に示した投影露光装置におけるレチクル照明光線、結像光線に関する説明図である。

第7図において、投影光学系14は通常内部に開口絞り16を有しており、レチクル8を通った光が通過し得る角度 $\theta_a$ を規制するとともにウエハ15上に落射する光線の角度 $\theta$ を決めている。

一般に投影光学系の開口数NAと称しているのは、 $NA = \sin \theta$ で定義される角度であり、投影倍率を $1/m$ とすると、 $\sin \theta_a = \sin \theta / m$ の関係にある。またこの種の装置においては、「像面テレセントリック」、すなわち、像面に落ちる主光線が像面に垂直に構成されるのが普通であり、この「像面テレセントリック」の条件を満たすため、第6図の均一化光学系19の出射面、すなわち、2次光源24の光源面の実像が開口絞り16の位置に結像せらるる。このような条件下でレチクル8から第2集光光学系を通して2次光

パターン断面の側壁傾斜がゆるく、厚いレジストの場合、断面形状は台形ないし三角形となる。このため従来の投影露光装置では、比較的バランスのとれた $\sigma$ 値として、 $\sigma = 0.5 \sim 0.7$ に固定設定されており、実験的に $\sigma = 0.3$ 等の条件が試みられているにすぎない。 $\sigma$ 値を設定するには2次光源24の光源面の大きさを決めれば良いため、一般に2次光源24の光源面の直後に $\sigma$ 値設定用の円形開口絞り9を置いている。

(発明が解決しようとする問題点)

このような従来の装置においては、レチクル8を照射する光の性質を制御するのがコヒーレンシ $\sigma$ 値だけであるため、焦点深度、領域内均一性、線幅制御性等各種条件を満たしつつ微細パターンを形成しようとする、NAと $\sigma$ とによって決まる限界があった。したがって、投影光学系14の開口数NAと2次光源24の大きさが決まると、パターン形成特性が自動的に決り、さらに解像性能を高めることはできなかった。

本発明はこのような点に鑑みてなされたもので



あり、その目的とするところは、投影光学系の開口数とレチクル照射用2次光源の大きさを固定した後のパターン解像性能をさらに向上させる投影露光装置を提供することにある。

(問題点を解決するための手段)

このような目的を達成するために本発明は、従来装置が用いていた2次光源の大きさを決める円形絞りの代わりに円輪状透過部を有する形状等中央部に対して周辺部の透過率が高くなるようにした特殊絞りを装着可能としたものである。

(作用)

本発明においては、レジストが薄い場合、解像度向上のために2次光源の中心部の光を用いず2次光源の周辺部の光のみによって露光する。

(実施例)

本発明に係わる投影露光装置に適用される特殊絞りとしての2次光源制御用絞りの各実施例を第1図～第4図に示す。

第1図に示す絞りは円輪状に通過域を有する絞りであり、照射光の透過率が高い石英、フッ化カ

い。

開口絞り9の大きさを変えた場合、開口が小さい程、すなわち、 $\sigma$ 値が小さい程得られるパターンの側壁は垂直に近くなる。一方、細かいパターンでの解像性を調べると、逆に、 $\sigma$ 値が大きい程細かいパターン迄隣接したパターンどうしが分かれて転写される。かかる2つの傾向、すなわち、 $\sigma$ 値が小さい程断面形状が良くなる一方、 $\sigma$ 値が大きい程細かいパターン迄解像できるという傾向からレジストの種類、膜厚を決めると、使用に耐える範囲の断面形状で最も細かいパターン迄めける $\sigma$ 値の通値が存在する。そして、多層レジスト等の使用を考え露光すべきレジスト層を露くする場合には、パターンの断面形状の差異はさほど顕著にならず解像性のみが問題となるので、上記の $\sigma$ 値の通値は $\sigma$ が大きい方に移行する。

照明光とパターン解像性との間に上記のごとき関係があるから、薄いレジスト層の場合には、2次光源の外側迄使う程細かいパターン迄解像する。したがって、さらに一歩進めて、細かいパターン

ルシウム、フッ化リチウム等の基板にクロム等の透光体を蒸着することによって作製することができる。また第2図(a)に示す絞りは透過率に分布を有する絞りである。この透過率の分布は、第2図(b)に示すように、周辺に近づく程透過率が高く中心に近づくると低透過率あるいは完全透光となる絞りである。この絞りは、第1図に示す絞り同様に、透過基板に透光体を径方向に厚さ分布を持たせて付着させることにより作製することができる。なお第2図(b)に示す曲線は、円の周辺に近づく程透過率が高くなる曲線であれば何でもよい。第3図に示す絞りは周辺部のみに数個又はそれ以上の多数個の小開口を有する絞りであり、金属板等に穴をあけることにより作製できる。また、第4図に示す絞りは第1図に示した絞りに近いものを簡便に金属板等をくりぬいて作製するため、円輪開口部の一部につなぎの部分を入れたものである。

本発明の構成は、第5図または第6図に示した従来装置の構成と同じでよく、開口絞り9の代わりに第1図～第4図に示した絞りを装着すればよ

く、透解像するために必要な2次光源の周辺部の光だけを用いれば、一層の高解像度化がはかれる。

第1図～第4図に示した絞りをを用いた本発明に係わる投影露光装置では、2次光源の中心部の光を用いず2次光源の周辺部の光のみによって露光することができるので、レジストを露くすれば、従来の装置ではとうてい得られなかった微細結晶のパターンを得ることができる。例えば、波長365nmのi線を用い、投影倍率1/10、投影光学系14の開口数0.35、レジストOFPR800、0.5 $\mu$ m厚でパターン形成を行なうと、従来の円形開口絞りで $\sigma = 0.5$ とした装置条件では、線幅0.5 $\mu$ m、ピッチ1 $\mu$ mのラインアンドスペースまでしか解像し得ないが、第1図に示した円輪状開口絞りを使用した本発明の投影露光装置の一実施例によれば、線幅0.4 $\mu$ m、ピッチ0.8 $\mu$ mのラインアンドスペースまで解像し得ることが確認されている。円輪状開口絞りにおいてはできるだけ外側の光線だけを使うようにする程高解像性となるので、円輪開口絞りの外形、内径により効

果はおのおの異なってくるが、いずれの場合も単純な円形開口に比較すると高解像となる。また、第2図～第4図に示した絞りを用いてもそれぞれ透過光の分布に応じた効果を生じ、これら以外の形状でも外側で高透過性を有する形状ならば何でもよい。

さらに本発明によれば、解像性が上がるとともに焦点深度が深くなることが確認されている。例えば、上記レジストパターンの場合、 $0.4\mu\text{m}$ ラインアンドスペースで $\pm 0.5\mu\text{m}$ 以上、 $0.5\mu\text{m}$ ラインアンドスペースで $\pm 1\mu\text{m}$ 以上の焦点深度となる。従来は $0.5\mu\text{m}$ ラインアンドスペースでも $\pm 0.5\mu\text{m}$ 程度であり、かなりの改善がはかれる。

このような特殊絞りを装置に固定設置することも可能であるが、前述のようにレジスト膜厚が厚い場合には、2次光源の中心部付近を使用した方が有利になることもあるので、従来の円形開口絞り等の均一絞りと特殊絞りを交換可能としておけばより便利である。

中央部に対して周辺部の透過率が高くなるようにした特殊絞りを装着することにより、薄いレジスト層に従来のより微細なパターンをより深い焦点深度で形成することができるので、半導体集積回路等の製造に適用すれば大幅な集積度向上がはかれる効果がある。また本発明はこのような特殊絞りとは従来の均一絞りとを交換可能としたので、膜厚の薄いレジストにも対応できる効果がある。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図～第4図は本発明に係わる投影露光装置に適用される特殊絞りとしての2次光源制御用絞りを示す平面図、第5図は従来の代表的な投影露光装置を示す構成図、第6図はその模式的構成図、第7図はそのレチクル照明光線、結像光線に関する説明図である。

1・・・ランプ、2・・・楕円反射鏡、3・・・第2焦点、4・・・インプットレンズ、5・・・オブチカルインテグレート、6・・・アウトプットレンズ、7・・・コリメーションレンズ、8・・・レチクル、9、16・・・

また、装置を第5図のごとく構成し、オブチカルインテグレート5の前に円錐レンズを着脱可能とし、オブチカルインテグレート5に入る光の分布を円錐レンズの着脱により周辺円輪状と中央集中型とに切換え可能とし、従来の円形絞り等の均一絞り使用時と特殊絞り使用時とで使い分けられるようにすれば、光線の使用効率を落とさずに使い分けができる。さらにインプットレンズ4を交換できるようにして焦点距離、設置位置を変え、オブチカルインテグレート5に入る光束の大きさを変えられるようにしても集光効率を改善できる。第5図に基づき一般的に言うと、特殊絞り使用時に特殊絞りの透過部分形状に類似した形状の光束に第1集光光学系18により集光し、この光束を均一化光学系19に入れるようにすれば、本発明はより有効である。

〔発明の効果〕

以上説明したように本発明は、従来の装置が用いていた2次光源の大きさを決める円形絞り等の均一絞りの代わりに円輪状透過部を有する形状等中

・開口絞り、10・・・フィルタ、11、12・・・コールドミラー、13・・・ランプハウス、14・・・投影光学系、15・・・ウエハ、17・・・光源、18・・・第1集光光学系、19・・・均一化光学系、20・・・第2集光光学系、24・・・2次光源。

特許出願人

日本電信電話公社

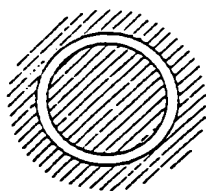
同上

日本光学工業株式会社

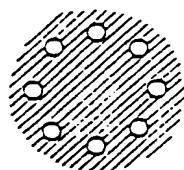
代理人

山 川 政 樹 (ほか1名)

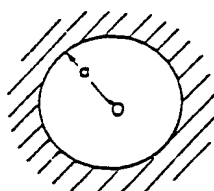
第1圖



第3圖

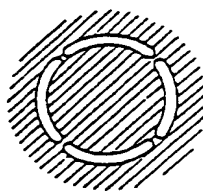


第2圖

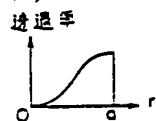


(a)

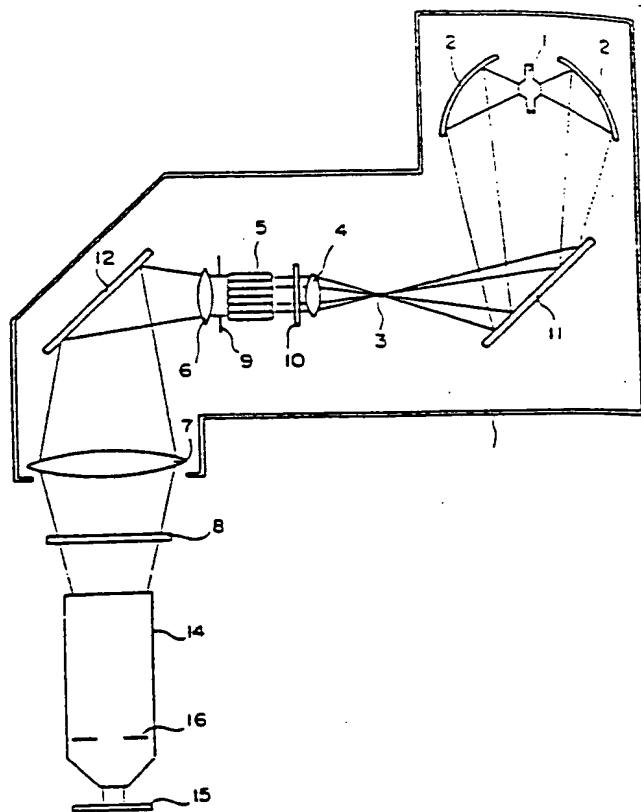
第4圖



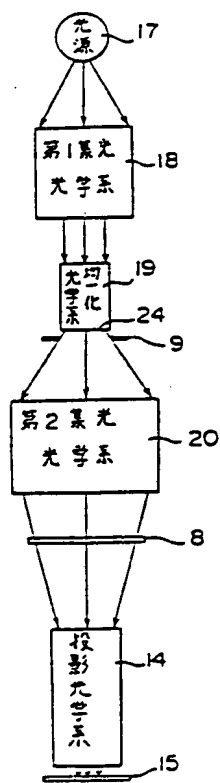
(b)



第5圖



第6圖



第7圖

